

# ESTUDO PILOTO DE COMPARAÇÃO DA CINEMÁTICA CLÁSSICA E PARÂMETROS NÃO-LINEARES NAS TRÊS VARIANTES DO NADO DE CROL: COMPLETO, SÓ COM MEMBROS SUPERIORES E SÓ COM MEMBROS INFERIORES.

Raul F. Bartolomeu<sup>1</sup>, Mário J. Costa<sup>2,3</sup>, Tiago M. Barbosa<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás os Montes e Alto Douro, Portugal

<sup>2</sup> Instituto Politécnico da Guarda, Portugal

<sup>3</sup> Centro de Investigação em Ciências do Desporto, Ciências da Saúde e Desenvolvimento Humano (CIDESD), Portugal

<sup>4</sup> Nanyang Technological University, Singapura

## INTRODUÇÃO

A natação poder caracterizada como sendo uma técnica de locomoção em meio aquático baseada em ações periódicas dos membros superiores e inferiores de forma a vencer a força de arrasto e deslocar o corpo para a frente na água (Barbosa et al., 2013). Nesta deslocação, as ações dos braços e pernas em cada ciclo levam a variações de, entre outros, parâmetros cinemáticos, nomeadamente a velocidade e a flutuação da velocidade, ambos fatores relacionados com a performance desportiva. À luz da cinemática clássica, o contributo de ambos os membros está documentada, sendo que, em termos de velocidade as pernas contribuem com aproximadamente 10% e os braços 90% para a velocidade máxima do nado (Deschodt, Arsac, & Rouard, 1999), e em termos de flutuação da velocidade, como esta depende da velocidade instantânea, tende a diminuir de nado completo, para só braços, para só pernas. No entanto, os padrões de nado dos humanos são bastante complexos e parecem exibir propriedades não-lineares, não podendo então ser caracterizados na sua totalidade recorrendo apenas às ferramentas da cinemática clássica. Estas propriedades não-lineares, nomeadamente a dimensão fratal (D) e a entropia (ApEn), pelo que é possível apurar, ainda não foram estudadas na locomoção aquática em humanos, e como tal, desconhece-se o seu contributo para a caracterização desta locomoção.

Foi objetivo do presente estudo analisar as propriedades cinemáticas e não-lineares nas três variantes do nado de crol.

## MÉTODOS

Trinta e oito nadadores (19 homens e 19 mulheres) com diferentes níveis competitivos (desde zonal a nacional) mas com pelo menos 2 anos de experiência em competições realizaram um *sprint* máximo de 25m em cada um das três variantes do nado de crol: completo (CC), só com membros superiores (CMS) e só com membros inferiores (CMI) em ordem aleatória, com descanso passivo de pelo menos 30 min. Cada *sprint* foi registado por um sistema mecânico de medição de velocidade (Swim speedo-meter, Swimsportec, Hildesheim, Germany). O bio-sinal foi adquirido em tempo real a uma frequência de 50 Hz. o sinal foi filtrado com Butterworth passa-baixa de 4ª ordem com uma frequência de corte de 5 Hz (AcqKnowledge v.3.5, Biopac Systems, Santa Barbara, USA). A velocidade e a flutuação da velocidade foram os parâmetro cinemático utilizados, este último considerado uma estimativa do custo energético (Barbosa et al., 2005). Os parâmetros não lineares utilizados foram a entropia e a dimensão fratal. A entropia foi calculada para pelo menos 500 pares velocidade-tempo, uma dimensão de incorporação de  $m=2$  e um valor máximo de tolerância de  $r=0.1$ . A dimensão fratal foi calculada pelo algoritmo de Higuchi para os mesmos pares de velocidade-tempo, e foi

definida como: i)  $D = 0$ , existem conjuntos não dimensionais; (ii)  $D = 1$ , existem conjuntos uni dimensionais (isto é, apenas comprimento, linha reta); (iii)  $D = 2$ , existem conjuntos bidimensionais (isto é, comprimento x largura, superfície) e; (iv)  $D = 3$ , existem conjuntos tridimensionais (isto é, comprimento x largura x altura, volume). Foi realizada uma análise da variância de medidas repetidas ( $p < 0,05$ ) para testar a influência das variantes de crol nas variáveis em estudo. O tamanho dos efeitos foi calculado com base no *Partial Eta Squared*, definido como: i) pequeno se  $0,01 < \eta_p^2 < 0,06$ ; médio se  $0,06 < \eta_p^2 < 0,14$  e; grande se  $\eta_p^2 > 0,14$  (Cohen, 1988). Foi testada a diferença entre sexos para todas as variáveis em estudo nas 3 variantes do crol recorrendo à ANOVA a um fator com o teste *post hoc* de Bonferroni.

## RESULTADOS

As variantes do crol mostraram ter influência sobre a velocidade ( $F(1,58; 50,58) = 225,693$ ;  $p < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,88$ ), sendo as 3 variantes diferentes entre si ( $p < 0,001$ ) com os valores mais altos a pertencer ao CC ( $1,306 \pm 0,189$  m/s), seguido pelo CMS ( $1,122 \pm 0,2$  m/s) e por fim o CMI ( $0,765 \pm 0,127$  m/s).

Também a dimensão fratal foi influenciada pela variante do crol, ( $F(1,19; 37,98) = 34,26$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,52$ ), sendo significativamente diferente entre CC ( $1,916 \pm 0,018$ ) e CMI ( $1,853 \pm 0,06$ ) e entre CMS ( $1,925 \pm 0,022$ ) e CMI ( $1,853 \pm 0,06$ ).

Verificou-se a existência de propriedades fratais nas 3 variantes do crol, sendo superiores no CMS, seguido pelo CC e pelo CMI. A entropia aproximada, por sua vez, foi superior no CC ( $ApEn = 0,554 \pm 0,031$ ), seguida do CMI ( $ApEn = 0,546 \pm 0,056$ ) e do CMS ( $ApEn = 0,529 \pm 0,035$ ).

A flutuação da velocidade foi mais elevada no CMI ( $0,104 \pm 0,046$ ), seguido pelo CMS ( $0,096 \pm 0,032$ ) e os valores mais baixos foram observados no CC ( $0,091 \pm 0,032$ ).

Verificaram-se diferenças entre o sexo masculino e feminino: i) na velocidade durante o CC ( $F(1, 36) = 26,71$ ,  $p < 0,00$ ,  $\eta_p^2 = 0,43$ ), CMS ( $F(1, 34) = 26,52$ ,  $p < 0,00$ ,  $\eta_p^2 = 0,44$ ) e CMI ( $F(1, 31) = 5,56$ ,  $p = 0,02$ ,  $\eta_p^2 = 0,15$ ), superior nos três casos para o sexo masculino;

ii) no dv para o CMS ( $F(1, 34) = 5,93$ ,  $p = 0,00$ ,  $\eta_p^2 = 0,14$ ), superior no sexo feminino e;

iii) na ApEn para o CMI ( $F(1, 32) = 6,61$ ,  $p = 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,17$ ), superior para o sexo masculino.

## DISCUSSÃO

Foi objetivo do presente estudo analisar as propriedades cinemáticas e não-lineares nas três variantes do nado de crol.

A locomoção humana no meio aquático demonstrou ter propriedades fratais nas 3 variantes do crol ( $1 < D < 2$ ), demonstrando um nível de complexidade intra-cíclica superiores no CMS seguida pelo CC e no fim pelo o CMI. Estes resultados sugerem uma maior contribuição da braçada do que da pernada para a complexidade do movimento, tal como acontece com a contribuição relativa dos segmentos para a velocidade.

Por sua vez, a entropia revelou que apesar de mais complexos, os padrões de nado do CMS são os mais previsíveis, seguidos pelo no do que no CMI e no CC, sugerindo que variantes de nado com a ação de somente 2 segmentos (CMS e CMI) são mais previsíveis do que a variante que utiliza os 4 segmentos (CC).

Conclui-se que as 3 variantes do nado de crol apresentam propriedades não-lineares, diferentes entre si em complexidade e previsibilidade. Estas características devem ser futuramente estudadas, por exemplo, nas outras técnicas de nado, de forma a conhecer melhor o comportamento destes parâmetros.

## BIBLIOGRAFIA

- Barbosa, T. M., Costa, M. J., Morais, J. E., Morouço, P., Moreira, M., Garrido, N. D., . . . Silva, A. J. (2013). Characterization of speed fluctuation and drag force in young swimmers: A gender comparison. *Hum Mov Sci*, 32(6), 1214-1225. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2012.07.009>
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaco, P., Lima, A. B., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol*, 93(5-6), 519-523. doi: 10.1007/s00421-004-1251-x
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Deschodt, V. J., Arsac, L. M., & Rouard, A. H. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(3), 192-199. doi: DOI 10.1007/s004210050581